

BIOREMEDIASI ALUMINIUM OLEH *Bacillus subtilis* ATCC 6633 DAN DAMPAKNYA TERHADAP RESPONS FISIOLOGIS *Oreochromis niloticus*

YOSAFAT DIMAS ANANDITA



**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “BIOREMEDIASI ALUMINIUM OLEH *Bacillus subtilis* ATCC 6633 DAN DAMPAKNYA TERHADAP RESPONS FISILOGIS *Oreochromis niloticus*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Yosafat Dimas Anandita
C1501241048

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

YOSAFAT DIMAS ANANDITA. Bioremediasi aluminium oleh *Bacillus subtilis* ATCC 6633 dan dampaknya terhadap respons fisiologis *Oreochromis niloticus*. Dibimbing oleh YUNI PUJI HASTUTI dan IMAN RUSMANA.

Pencemaran aluminium di perairan berpotensi menurunkan kualitas lingkungan budidaya dan mengganggu kondisi fisiologis organisme akuatik. Aluminium terlarut dapat menyebabkan gangguan respirasi, osmoregulasi, perubahan hematologi, kerusakan jaringan, dan peningkatan mortalitas ikan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengurangi toksisitas aluminium adalah bioremediasi menggunakan bakteri. *Bacillus subtilis* ATCC 6633 diketahui memiliki kemampuan adaptasi terhadap lingkungan tercemar dan berpotensi digunakan dalam proses biosorpsi logam. Namun, informasi mengenai efektivitas *B. subtilis* ATCC 6633 dalam menurunkan aluminium terlarut serta kaitannya dengan kondisi fisiologis ikan budidaya masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan *B. subtilis* ATCC 6633 dalam menurunkan konsentrasi aluminium terlarut serta dampaknya terhadap kualitas air, tingkat kelangsungan hidup, dan respons fisiologis ikan nila (*Oreochromis niloticus*).

Penelitian terdiri atas uji toksisitas akut aluminium, uji resistensi dan bioremediasi bakteri, serta uji pemeliharaan ikan menggunakan kombinasi perlakuan aluminium dan bakteri. Penelitian utama menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat perlakuan, yaitu kontrol (K), *B. subtilis* ATCC 6633 10^6 CFU/mL (B), aluminium 7,85 mg/L (Al), dan kombinasi aluminium 7,85 mg/L dengan *B. subtilis* ATCC 6633 10^6 CFU/mL (AB), masing-masing dengan tiga ulangan. Parameter yang diamati meliputi tingkat kelangsungan hidup ikan, kualitas air, kepadatan bakteri, konsentrasi aluminium terlarut, hematologi, dan histologi insang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LC_{50-96} jam aluminium terhadap *O. niloticus* sebesar 7,847 mg/L dengan selang kepercayaan 95% sebesar 7,585–8,124 mg/L. *B. subtilis* ATCC 6633 mampu tumbuh pada media yang mengandung aluminium hingga konsentrasi 100 mg/L. Pada uji bioremediasi, perlakuan kombinasi aluminium dan *B. subtilis* menunjukkan penurunan konsentrasi aluminium terlarut hingga 70,32% selama 96 jam pengamatan. Keberadaan aluminium pada fraksi pelet setelah sentrifugasi menunjukkan adanya perpindahan aluminium dari fase terlarut ke biomassa bakteri yang mengarah pada mekanisme biosorpsi.

Paparan aluminium menurunkan tingkat kelangsungan hidup ikan nila dibandingkan kontrol, sedangkan perlakuan kombinasi aluminium dan *B. subtilis* menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan aluminium tanpa bakteri. Parameter kualitas air selama penelitian masih berada pada kisaran toleransi *O. niloticus*, meskipun perlakuan aluminium menunjukkan nilai alkalinitas yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Paparan aluminium juga menyebabkan perubahan parameter hematologi berupa penurunan eritrosit dan perubahan leukosit dibandingkan kontrol. Pada akhir pengamatan, perlakuan kombinasi aluminium dan *B. subtilis* menunjukkan respons hematologi yang lebih baik dibandingkan perlakuan



aluminium tanpa bakteri, meskipun pemulihan fisiologis belum sepenuhnya terjadi selama periode pengamatan.

Penurunan konsentrasi aluminium terlarut pada perlakuan kombinasi aluminium dan *B. subtilis* menunjukkan bahwa keberadaan bakteri tidak hanya berperan dalam memperbaiki kondisi media pemeliharaan, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan tekanan toksik pada ikan. Meskipun demikian, respons fisiologis ikan belum sepenuhnya kembali mendekati kondisi kontrol selama periode pengamatan 96 jam. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pemulihan fisiologis ikan berlangsung lebih lambat dibandingkan penurunan konsentrasi aluminium di media. Dengan demikian, efektivitas bioremediasi aluminium tidak hanya ditentukan oleh kemampuan bakteri dalam menurunkan logam terlarut, tetapi juga oleh durasi pemaparan dan kemampuan organisme dalam melakukan pemulihan fisiologis setelah mengalami stres akibat logam.

Pengamatan histologi insang menunjukkan bahwa paparan aluminium menyebabkan kerusakan jaringan berupa fusi lamela, pemendekan lamela sekunder, dan infiltrasi sel inflamasi. Tingkat kerusakan jaringan pada perlakuan kombinasi aluminium dan *B. subtilis* lebih rendah dibandingkan perlakuan aluminium tanpa bakteri. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa *B. subtilis* ATCC 6633 berpotensi dikembangkan sebagai agen bioremediasi aluminium pada sistem akuakultur terkontrol melalui kemampuannya dalam menurunkan konsentrasi aluminium terlarut dan mengurangi dampak toksik aluminium terhadap ikan nila, meskipun pemulihan fisiologis ikan belum berlangsung sepenuhnya dalam periode pengamatan 96 jam.

Kata kunci: aluminium, *Bacillus subtilis*, bioremediasi, ikan nila, kualitas air

SUMMARY

YOSAFAT DIMAS ANANDITA. Aluminium bioremediation by *Bacillus subtilis* ATCC 6633 and its effects on the physiological responses of *Oreochromis niloticus*. Supervised by YUNI PUJI HASTUTI and IMAN RUSMANA.

Aluminium contamination in aquatic environments may reduce water quality and disrupt the physiological condition of aquatic organisms. Dissolved aluminium can cause respiratory and osmoregulatory disturbances, hematological alterations, tissue damage, and increased fish mortality. One approach that may reduce aluminium toxicity is bacterial bioremediation. *Bacillus subtilis* ATCC 6633 is known to possess adaptability to contaminated environments and potential application in heavy metal biosorption. However, information regarding the effectiveness of *B. subtilis* ATCC 6633 in reducing dissolved aluminium and its relationship with fish physiological condition remains limited. Therefore, this study was conducted to evaluate the ability of *B. subtilis* ATCC 6633 to reduce dissolved aluminium concentration and its effects on water quality, survival rate, and physiological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).

The study consisted of acute aluminium toxicity testing, bacterial resistance and bioremediation testing, and fish exposure experiments using combinations of aluminium and bacterial treatments. The main experiment employed a completely randomized design with four treatments: control (K), *B. subtilis* ATCC 6633 at 10^6 CFU/mL (B), aluminium at 7,85 mg/L (A1), and a combination of aluminium 7,85 mg/L with *B. subtilis* ATCC 6633 at 10^6 CFU/mL (AB), each with three replicates. Observed parameters included fish survival rate, water quality, bacterial density, dissolved aluminium concentration, hematology, and gill histology.

The results showed that the LC_{50-96} hours value of aluminium against *O. niloticus* was 7,847 mg/L with a 95% confidence interval of 7,585–8,124 mg/L. *B. subtilis* ATCC 6633 was able to grow in media containing aluminium up to 100 mg/L. In the bioremediation test, the combined aluminium and *B. subtilis* treatment reduced dissolved aluminium concentration by 70,32% during the 96 hours observation period. The presence of aluminium in the pellet fraction after centrifugation indicated the transfer of aluminium from the dissolved phase into bacterial biomass through mechanisms associated with biosorption.

Aluminium exposure reduced fish survival rate compared with the control treatment, whereas the combined aluminium and *B. subtilis* treatment resulted in a higher survival rate than aluminium treatment without bacteria. Water quality parameters remained within the tolerance range for *O. niloticus*, although aluminium treatment showed lower alkalinity values compared with other treatments. Aluminium exposure also caused hematological alterations, including decreased erythrocyte counts and changes in leukocyte counts compared with the control. At the end of the observation period, the combined aluminium and *B. subtilis* treatment showed better hematological responses than aluminium treatment without bacteria, although complete physiological recovery had not yet occurred during the observation period.

The reduction of dissolved aluminium concentration in the combined aluminium and *B. subtilis* treatment indicates that the presence of bacteria not only contributed to improving the culture media condition, but also played a role in reducing toxic stress in fish. However, the physiological responses of fish had not fully returned to conditions comparable with the control treatment during the 96 hours observation period. This condition suggests that physiological recovery in fish occurred more slowly than the reduction of dissolved aluminium concentration in the media. Therefore, the effectiveness of aluminium bioremediation was not only determined by the bacterial ability to reduce dissolved metal concentration, but also by the duration of exposure and the ability of organisms to recover physiologically after experiencing heavy metal-induced stress.

Histological observations showed that aluminium exposure caused tissue damage, including lamellar fusion, shortening of secondary lamellae, and inflammatory cell infiltration. The degree of tissue damage in the combined aluminium and *B. subtilis* treatment was lower than that in aluminium-only treatment. Overall, this study demonstrated that *B. subtilis* ATCC 6633 has potential to be developed as an aluminium bioremediation agent in controlled aquaculture systems through its ability to reduce dissolved aluminium concentration and alleviate aluminium toxic effects on Nile tilapia, although physiological recovery had not fully occurred during the 96 hours observation period.

Keywords: aluminium, *Bacillus subtilis*, bioremediation, Nile tilapia, water quality



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**BIOREMEDIASI ALUMINIUM OLEH *Bacillus subtilis* ATCC
6633 DAN DAMPAKNYA TERHADAP RESPONS
FISIOLOGIS *Oreochromis niloticus***

YOSAFAT DIMAS ANANDITA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Akuakultur

**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1 Prof Dr. Ir. Odang Carman M.Sc
2 Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



viii

Judul Tesis : Bioremediasi Aluminium oleh *Bacillus subtilis* ATCC 6633 dan Dampaknya terhadap Respons Fisiologis *Oreochromis niloticus*

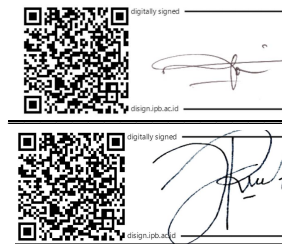
Nama : Yosafat Dimas Anandita

NIM : C1501241048

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Yuni Puji Hastuti, S.Pi., M.Si

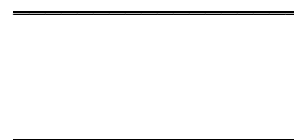
Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Iman Rusmana, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si.
NIP 196709271994032001

Dekan Fakultas:
Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M.Si.
NIP 198001182005011003



Tanggal Ujian:
25 Juni 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian yang berjudul “Bioremediasi Aluminium oleh *Bacillus subtilis* ATCC 6633 dan Dampaknya terhadap Respons Fisiologis *Oreochromis niloticus*” ini dilaksanakan pada bulan April hingga September 2025. Penulis menyampaikan terima kasih kepada IPB University atas kesempatan yang diberikan untuk menempuh studi pada Program Studi Ilmu Akuakultur. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Ibu Dr. Yuni Puji Hastuti, S.Pi., M.Si dan Bapak Prof. Dr. Ir. Iman Rusmana, M.Si selaku pembimbing atas arahan, bimbingan, dan masukan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan tesis. Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Iis Diatin, MM selaku moderator seminar serta para penguji luar komisi pembimbing atas kritik dan saran yang konstruktif. Penulis turut mengapresiasi Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB University beserta seluruh teknisi dan staf laboratorium atas dukungan fasilitas dan bantuan teknis selama penelitian. Penghargaan dan rasa terima kasih yang mendalam juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua, Tri Atmowidi dan Anastasia Tatik Hartanti, serta Patricia Arindita Eka Pradipta, Agata Adinda Kartika Putri, Neisya Patricia, dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi. Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan untuk perbaikan ke depan. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang akuakultur.

Bogor, Juni 2026

Yosafat Dimas Anandita



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Prosedur Penelitian	4
2.3 Pengumpulan Data	9
2.4 Analisis Data	12
III HASIL DAN PEMBAHASAN	14
3.1 Hasil	14
3.2 Pembahasan	23
IV SIMPULAN DAN SARAN	28
4.1 Simpulan	28
4.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	32
RIWAYAT HIDUP	43

DAFTAR TABEL

1	Alokasi uji kisaran bakteri <i>B. subtilis</i>	7
2	Alokasi uji kisaran aluminium	7
3	Alokasi LC ₅₀ -96 jam	8
4	Alokasi penelitian bioremediasi	9
5	Parameter kualitas air	11
6	Hasil uji kisaran konsentrasi <i>B. subtilis</i> ATCC 6633 terhadap <i>O. niloticus</i>	14
7	Hasil uji kisaran konsentrasi aluminium terhadap <i>O. niloticus</i>	14
8	Tingkat mortalitas <i>O. niloticus</i> pada uji toksisitas akut aluminium selama 96 jam	15
9	Nilai estimasi LC ₅₀ -96 jam aluminium terhadap <i>O. niloticus</i>	15
10	Hasil uji biokimia <i>B. subtilis</i> ATCC 6633	16
11	Pertumbuhan <i>B. subtilis</i> ATCC 6633 pada media dengan konsentrasi aluminium berbeda	17
12	Distribusi aluminium pada media dan fraksi pelet selama uji bioremediasi 96 jam	18
13	Parameter kualitas air pada uji bioremediasi aluminium selama 96 jam	20
14	Kepadatan bakteri (log ₁₀ CFU/mL) pada media pemeliharaan ikan	20
15	Tingkat mortalitas dan kelangsungan hidup ikan nila pada uji bioremediasi aluminium	21
16	Konsentrasi aluminium terlarut pada media pemeliharaan <i>O. niloticus</i>	21
17	Parameter hematologi <i>O. niloticus</i> pada akhir uji bioremediasi	22



DAFTAR GAMBAR

1. Skema rancangan uji bioremediasi aluminium menggunakan <i>B. subtilis</i> ATCC 6633	5
2. Pertumbuhan koloni <i>B. subtilis</i> ATCC 6633 pada media yang mengandung aluminium dengan konsentrasi Al pada media (A) 0 mg/L, (B) 10 mg/L, (C) 20 mg/L, (D) 50 mg/L, dan (E) 100 mg/L	17
3. Kurva pertumbuhan <i>B. subtilis</i> ATCC 6633 pada media NB dan NB + aluminium 8 mg/L	18
4. Perubahan pH selama periode paparan 96 jam pada <i>O. niloticus</i> dengan perlakuan berbeda. Nilai disajikan sebagai rata-rata $\pm$ simpangan baku (mean $\pm$ SD) (n = 3). K (Kontrol), B (<i>B. subtilis</i> 10 ⁶ CFU/mL), Al (Aluminium 7,85 mg/L), dan AB (Aluminium 7,85 mg/L + <i>B. subtilis</i> 10 ⁶ CFU/mL).	19
5. Histologi insang <i>O. niloticus</i> pada berbagai perlakuan dengan perbesaran 400 $\times$ (50 μ m) dan 1000 $\times$ (10 μ m): kontrol (A–B), <i>B. subtilis</i> 10 ⁶ CFU/mL (C–D), aluminium 7,85 mg/L (E–F), serta kombinasi <i>B. subtilis</i> 10 ⁶ CFU/mL + aluminium 7,85 mg/L (G–H). Lesi yang diamati meliputi fusi lamela (1), pemendekan lamela sekunder (2), epitheliocystis (3), infiltrasi limfosit (4), dan infiltrasi leukosit polimorfonuklear (5).	23

DAFTAR LAMPIRAN

1. Kurva standar logam aluminium menggunakan AAS	32
2. Nilai probit dari aplikasi SPSS	32
3. Hasil Uji SIM, OF, dan Katalase	33
4. Uji normalitas Shapiro-Wilk, ANOVA, dan uji lanjut Tukey uji utama mortalitas menggunakan aplikasi R	34
5. Uji normalitas, homogenitas, ANOVA, dan Tukey pada kualitas air pada uji utama	35